

## WPŁYW OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ NA PRZEPŁYWY RZEK W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY

DARIUSZ WRZESIŃSKI, TOMASZ OGÓR, KATARZYNA PLEWA

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

**Abstract:** This article examines the dependence between monthly and seasonal NAO indices and monthly flows of rivers in the Wisła basin down to Jagodniki. In the analysis, use was made of monthly flow data from 55 gauging stations from 1971–2010. On the basis of 156 coefficients of correlation among the variables analysed, two variants of the clustering of the gauging stations, using Ward's method, were employed. In both, six river clusters were distinguished. In a majority of cases, the analyses showed there to be the strongest negative correlation between winter NAO indices and May to September flows of the Wisła's left-bank tributaries. The NAO impact on the flow of the Wisła's Carpathian tributaries is weaker, though still observable.

**Keywords:** North Atlantic Oscillation, correlation, river flow, hierarchical clustering

### WSTĘP

Oscylacja Północnoatlantycka jest makroskalowym typem cyrkulacji atmosfery pełniącym istotną, klimatotwórczą rolę (Marsz, Żmudzka 1999; Marsz 2001). Z dotychczasowych badań wynika silny wpływ NAO na temperaturę powietrza w chłodnej porze roku (Marsz, Styszyńska 2001; Kożuchowski, Degirmendżic 2002; Niedźwiedz 2002; Przybylak i in. 2003) na warunki opadowe (Styszyńska 2001; Wibig 2001), radiacyjne i wilgotnościowe (Bryś, Bryś 2002) oraz na grubość pokrywy śnieżnej (Falarz 2007; Bednorz 2009). W konsekwencji obserwowane jest oddziaływanie NAO na wielkość i dynamikę odpływu rzecznoego. Kaczmarek (2002, 2003) stwierdził wpływ NAO na wielkość wezbrań roztopowych rzek Europy Środkowej. W pozytywnej fazie NAO zazwyczaj obserwuje się niższe wezbrania wiosenne niż w fazie negatywnej. Potwierdzono również wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na przepływy Warty (Styszyńska 2002; Styszyńska, Tamulewicz 2004) oraz istnienie asynchronicznych zależności między zimowymi indeksami NAO a przepływami Wisły i niektórych rzek karpaccich (Limanówka i in. 2002; Pociask-Karteczka i in. 2002–2003). Wrzesiński (2010, 2011) stwierdził wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na warunki formowania oraz zmiany wysokości i sezonowości odpływu polskich rzek. Wpływ NAO na warunki odpływu rzek na obszarach górskich w Polsce nie był przedmiotem wielu badań, a wyniki dotychczas przeprowadzonych

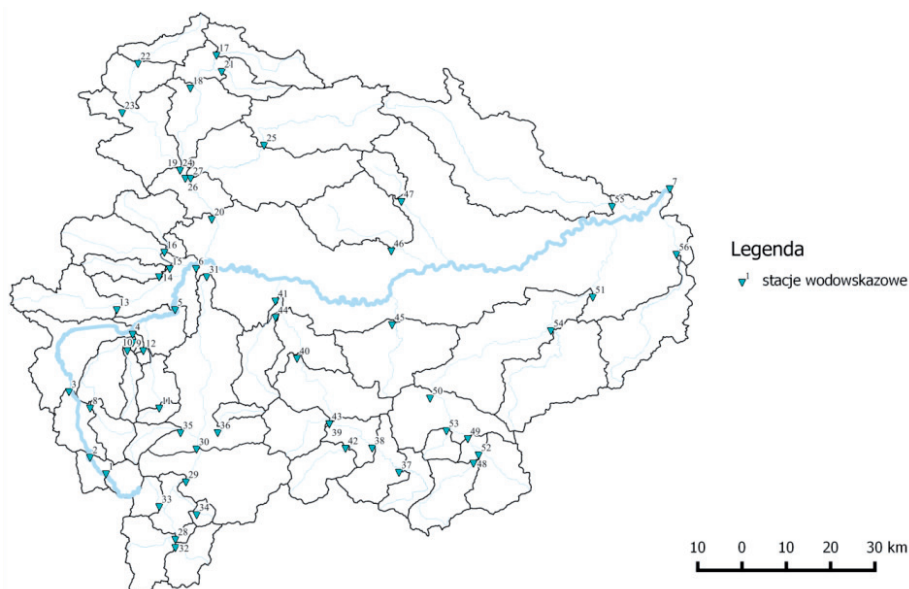
wskazują, że jest on raczej słaby, ale zauważalny. Dalsze badania wykorzystujące bogaty materiał hydrometryczny z zastosowaniem nowych metod analizy mogą rozszerzyć wiedzę na temat znaczenia tego makroskalowego typu cyrkulacji. Stąd celem pracy jest ustalenie wpływu zmian natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej na przepływy rzek w górnym dorzeczu Wisły.

## OBSZAR BADAŃ I MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE

W analizie wykorzystano wartości miesięcznych przepływów z lat 1971–2010 dla 55 posterunków wodowskazowych zlokalizowanych na 33 rzekach dorzecza górnej Wisły (ryc. 1). Dane hydrometryczne uzyskano ze zbiorów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Przedmiotem badań były ciekі w dorzeczu górnej Wisły po posterunek Jagodniki. Są wśród nich dopływy Wisły – zarówno prawe, karpackie, jak i lewe, pochodzące z Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Badane rzeki reprezentują zróżnicowane typy reżimu odpływu. Rzeki karpackie charakteryzują się zazwyczaj typem niwalno-pluwialnym i pluwialno-niwalnym, natomiast wyżynne niwalnym słabo i średnio wykształconym (Wrześniński 2013).

## METODY BADAŃ

Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na przepływ badanych rzek określono na podstawie analizy korelacyjnej. W tym celu posłużono się współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona. Analiza obejmowała dwa warianty korelacji – miesięcznych i sezonowych (z trzech kolejnych miesięcy) indeksów NAO z miesięcznymi przepływami. Dotyczyła synchronicznych i asynchronicznych serii danych. Przykładowo, indeks  $NAO_{XI}$  z listopada (w drugim wariancie indeks  $NAO_{OND}$  dla okresu październik–grudzień) korelowano z przepływami w miesiącach od listopada do października. Indeks z grudnia ( $NAO_{XII}$ ) i z okresu listopad–styczeń ( $NAO_{NDJ}$ ) korelowano z przepływami w miesiącach od grudnia do października, natomiast przepływ w listopadzie skorelowano ze wskaźnikiem  $NAO_{XII}$  ( $NAO_{NDJ}$ ) z roku poprzedniego itd. Istotność statystyczną współczynników korelacji oceniono za pomocą statystyki  $t$ . Rezultaty przedstawiono w postaci macierzy współczynników korelacji. Dla każdego posterunku wodowskazowego uzyskano dwie macierze ze 156 współczynnikami korelacji. Pierwsza macierz zawiera współczynniki korelacji obliczone między miesięcznymi przepływami a miesięcznymi indeksami NAO, natomiast druga macierz z sezonowymi indeksami NAO. Na kolejnym etapie pracy wartości tych współczynników korelacji, jako zmienne, były podstawą grupowania posterunków metodą Warda. Wyniki grupowania przedstawiono na dendrogramach. Geometria tych wykresów, wraz z uwzględnieniem krzywej odległości wiązania, pozwoliła na wydzielenie klas typologicznych posterunków wodowskazowych.



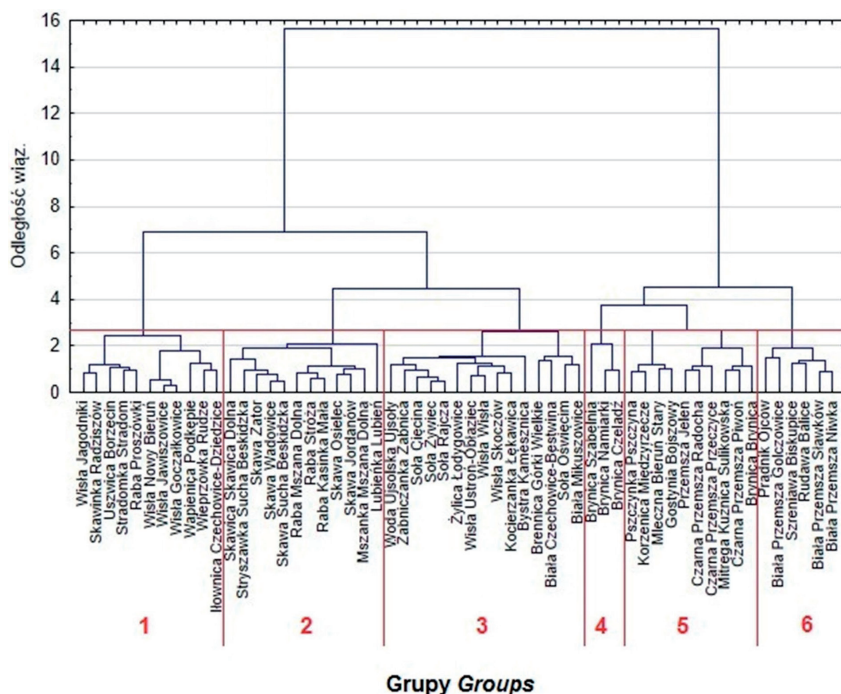
Ryc. 1. Położenie posterunków wodowskazowych

Fig. 1. Location of gauging stations

1 – Wisła-Wisła, 2 – Wisła-Ustroń/Oblaziec, 3 – Wisła-Skoczów, 4 – Wisła-Goczałkowice, 5 – Wisła-Jawiszowice, 6 – Wisła-Nowy Bieruń, 7 – Wisła-Jagodniki, 8 – Brennica-Górki Wielkie, 9 – Hłownica-Czechowice-Dziedzice, 10 – Wapienica-Podkępie, 11 – Biała-Mikuszowice, 12 – Biała-Czechowice-Bestwina, 13 – Pszczynka-Pszczyna, 14 – Korzenica-Międzyrzecze, 15 – Gostynia-Bojszowy, 16 – Mleczna-Bieruń Stary, 17 – Czarna Przemsza-Piwoń, 18 – Czarna Przemsza-Przeczycze, 19 – Czarna Przemsza-Radocha, 20 – Przemsza-Jeleń, 21 – Mitręga-Kuźnica Sulikowska, 22 – Brynica-Brynica, 23 – Brynica-Namiarki, 24 – Brynica-Szabelnia, 25 – Biała Przemsza-Sławków, 26 – Biała Przemsza-Niwka I, 28 – Soła-Rajcza, 29 – Soła-Cięcina, 30 – Soła-Żywiec, 31 – Soła-Oświęcim, 32 – Woda Ujsolska-Ujsoly, 33 – Bystra-Kamesznica, 34 – Żabniczanka-Żabnica, 35 – Żylica-Lodygowice, 36 – Kocierzanka-Lękawica, 37 – Skawa-Jordanów, 38 – Skawa-Osielec, 39 – Skawa-Sucha Beskidzka, 40 – Skawa-Wadowice, 41 – Skawa-Zator, 42 – Skawica-Skawica Dolna, 43 – Stryszawka-Sucha Beskidzka II, 44 – Wieprzówka-Rudze, 45 – Skawinka-Radziszów, 46 – Rudawa-Balice, 47 – Prądnik-Ojców, 48 – Raba-Mszana Dolna II, 49 – Raba-Kasinka Mała, 50 – Raba-Stróża, 51 – Raba-Proszówki, 52 – Mszanka-Mszana Dolna I, 53 – Lubieńka-Lubień, 54 – Stradom-Stradom, 55 – Szreniawa-Biskupice, 56 – Uswica-Borzęcin

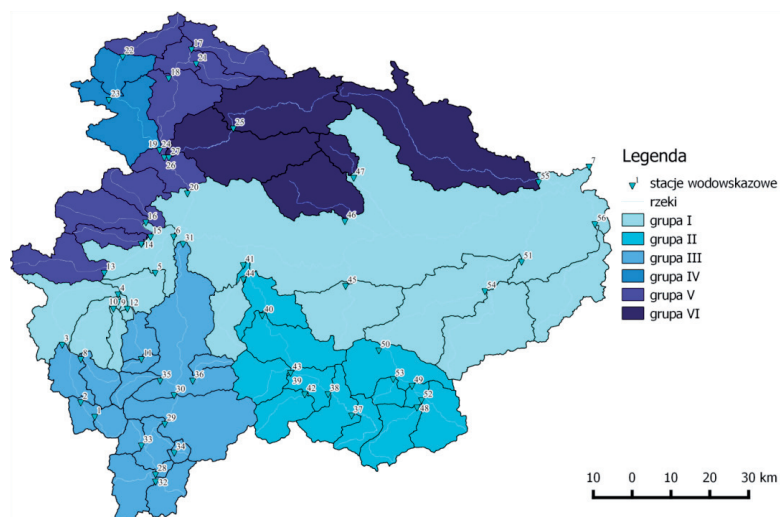
## WYNIKI

W pierwszym wariancie analizy na podstawie współczynników korelacji miesięcznych indeksów NAO z miesięcznymi przepływami wyróżniono 6 grup (ryc. 2). Wyraźnie zaznacza się podział na prawe (karpackie) (grupy 1–3) i lewe dopływy Wisły (grupy 4–6). W grupach 1–3 znalazła się Wisła i rzeki systemów hydrologicznych jej karpackich dopływów. Stwierdzono, że wpływ NAO na przepływy tych rzek jest niewielki, ale zauważalny i zaznacza się jedynie



Ryc. 2. Dendrogram grupowania rzek metodą Warda ze względu na wartości współczynników korelacji miesięcznych indeksów NAO z miesięcznymi przepływami

Fig. 2. Dendrogram of the clustering of rivers by Ward's method based on the coefficients of correlation between monthly NAO indices and monthly river flows



Ryc. 3. Położenie zlewni wyróżnionych w pierwszym wariancie grupowania

Fig. 3. Location of catchments distinguished in the first variant of clustering

w chłodnej porze roku. Indeksy NAO z okresu zimowego ( $NAO_I$  oraz  $NAO_{II}$ ) korelują ujemnie, istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ) jedynie z przepływami tych rzek w maju. W wypadku rzek grupy 1 przepływy w maju istotnie ( $p < 0,05$ ) ujemnie skorelowane są z indeksem  $NAO_I$  i  $NAO_{II}$ , a w grupie 2 i 3 z  $NAO_I$ . Istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ), ale dodatnie korelacje stwierdzono między indeksem  $NAO_{XI}$  a przepływami na tych rzekach w marcu i kwietniu. Interesujący jest związek przepływów w miesiącach zimowych i wiosennych z indeksami NAO dla miesięcy letnich zaobserwowanych o rok wcześniej. Przepływy rzek grupy 1 w lutym i marcu, a grupy 2 w lutym wykazują istotne statystycznie korelacje z indeksami NAO z roku poprzedniego – w przypadku rzek grupy 1 dotyczy to indeksu  $NAO_{VII}$  i  $NAO_{VIII}$ , a grupy 2 indeksu  $NAO_{VIII}$ . Związki te mogą być jednak przypadkowe i wymagają potwierdzenia w dalszych badaniach.

Analizując związki korelacyjne przepływów rzek z indeksami NAO w grupach 4–6, uwagę zwraca ujemna korelacja indeksów zimowych ze wszystkimi miesięcznymi przepływami. Współczynniki korelacji, zwłaszcza z przepływami w okresie letnio-jesiennym, są też wyższe i bardziej statystycznie istotne. W grupie 4 przepływy rzek w okresie od maja do września ujemnie, istotnie statystycznie korelują z indeksem  $NAO_{XII}$  i  $NAO_I$ . W pozostałych grupach (5 i 6) zaobserwowane zależności są jeszcze silniejsze i dotyczą indeksów  $NAO_{XII}$ ,  $NAO_I$ ,  $NAO_{II}$  i  $NAO_{III}$ , które ujemnie korelują z przepływami rzek w maju i wrześniu. W wypadku grupy 6 obliczone współczynniki korelacji z  $NAO_{XII}$  i  $NAO_I$  są najwyższe i najbardziej statystycznie istotne ( $p < 0,01$ ).

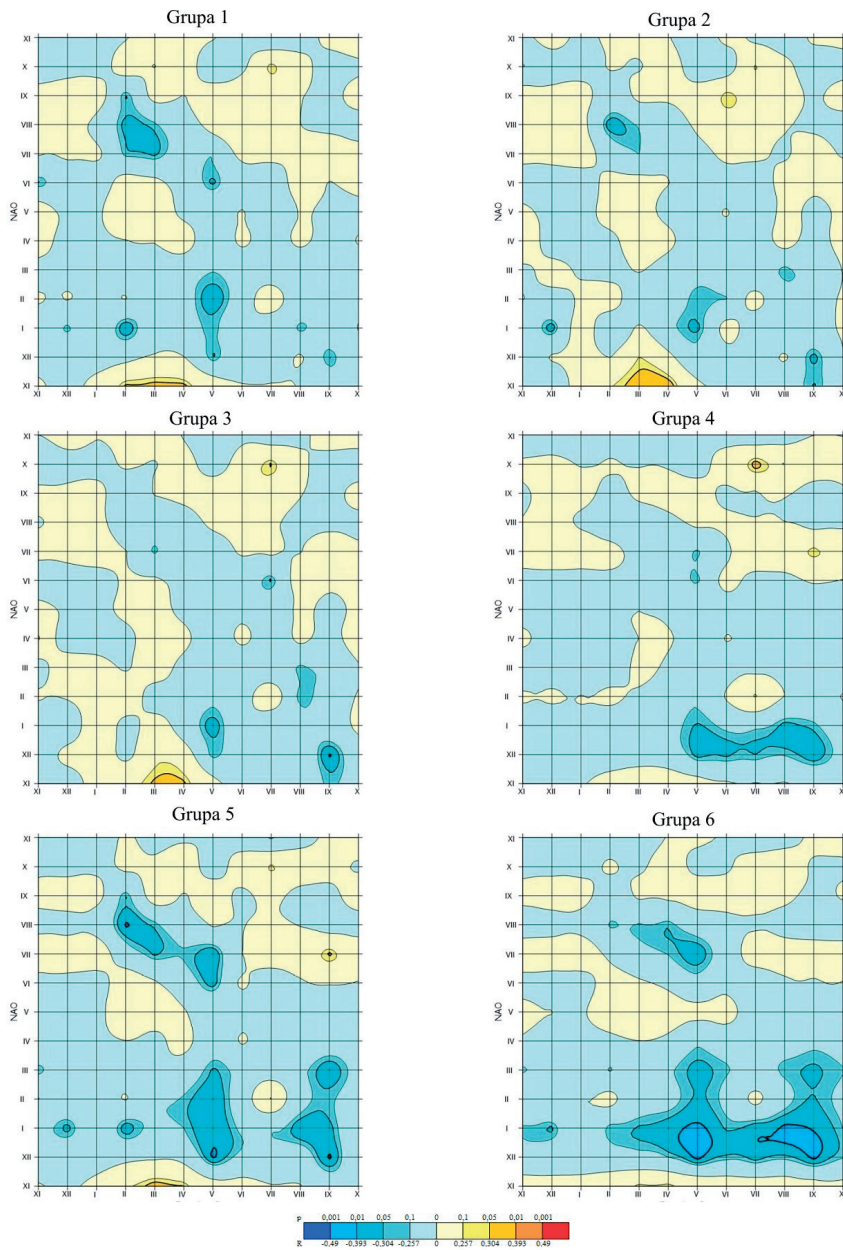
W drugim wariancie grupowania ponownie wyróżniono 6 grup, które są niemal identyczne z podziałem uzyskanym w wariancie pierwszym (ryc. 5). Pierwsze trzy grupy tworzą prawe, a kolejne trzy grupy lewe dopływy Wisły (ryc. 6). Związki korelacyjne sezonowych indeksów NAO z przepływami miesięcznymi zasadniczo pokazują podobne relacje jak zaobserwowane w pierwszym wariancie analizy. Obliczone współczynniki korelacji są jednak wyższe i statystycznie bardziej istotne.

Podobnie jak w pierwszym wariancie grupowania najsilniejszy wpływ na miesięczne przepływy ma natężenie Oscylacji Północnoatlantyckiej w okresie zimowym. We wszystkich grupach silne związki korelacyjne zaobserwowano między indeksami Oscylacji Północnoatlantyckiej od  $NAO_{OND}$  do  $NAO_{FMA}$  z przepływami w maju i wrześniu, przy czym najbardziej statystycznie istotne ( $p < 0,01$ ) odnotowano dla rzek grupy 5 i 6.

## PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono zależność między miesięcznymi i sezonowymi wskaźnikami NAO a miesięcznymi przepływami rzek w dorzeczu górnej Wiśły. Z badań wynika, że najsilniejszy wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej



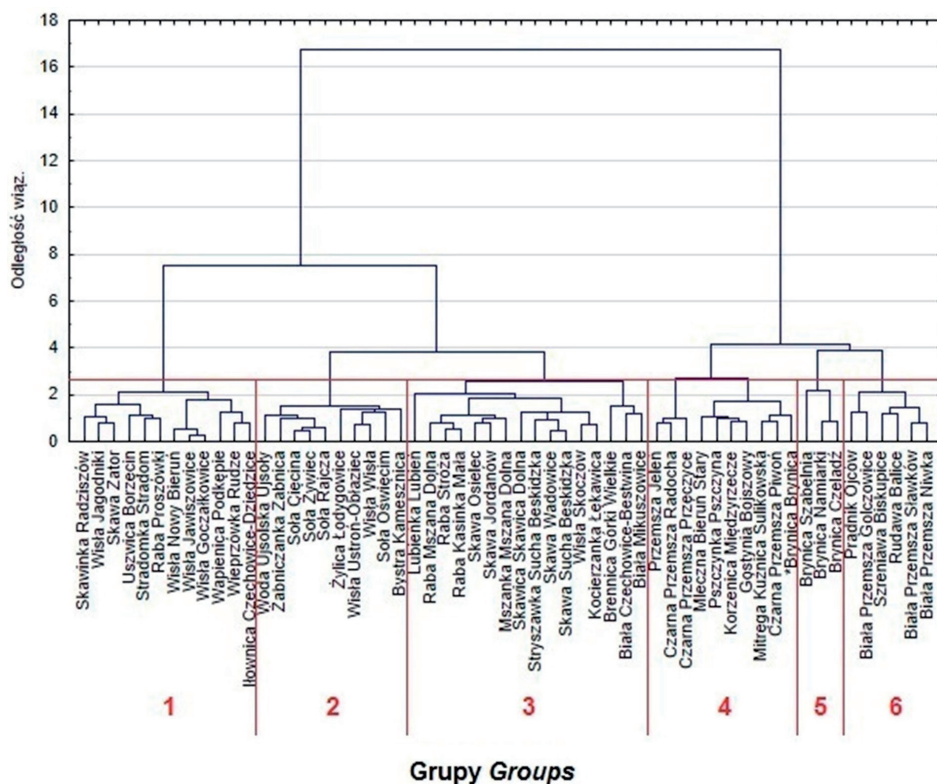


Ryc. 4. Macierze współczynników korelacji miesięcznych indeksów NAO z miesięcznymi przepływami rzek w wyróżnionych grupach

$p$  – poziom istotności statystycznej,  $R$  – współczynnik korelacji

Fig. 4. Matrices of coefficients of correlation between monthly NAO indices and monthly flows of rivers in the clusters distinguished

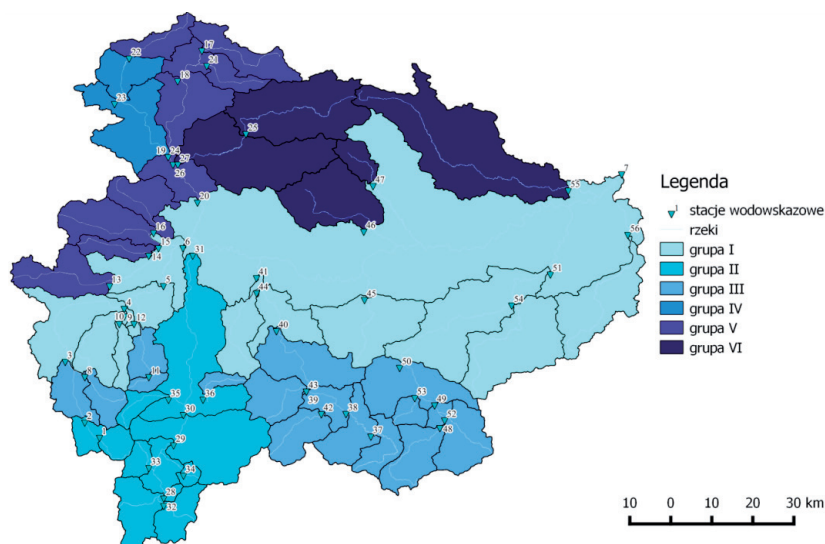
$p$  – level statistical significance,  $R$  – correlation coefficient



Ryc. 5. Dendrogram grupowania rzek metodą Warda ze względu na wartości współczynników korelacji sezonowych indeksów NAO z miesięcznymi przepływami

Fig. 5. Dendrogram of the clustering of rivers by Ward's method based on the coefficients of correlation between seasonal NAO indices and monthly river flows

obserwuje się w okresie zimowym. Indeksy z tego okresu najsilniej ujemnie korelują z przepływami rzek w sezonie letnio-jesiennym. W ujemnej fazie NAO należy zatem spodziewać się wyższych, a w dodatniej fazie niższych niż za zwyczaj przepływów w tym okresie. Zależności te są jednak dość silnie przestrzennie zróżnicowane. Znacznie słabsze związki wykryto w przypadku rzek karpackich i samej Wisły. Podobne wnioski wynikają z pracy Pociask-Karteczki i in. (2002–2003). Autorzy zwracają w niej uwagę na słaby, ale zauważalny wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na przepływy Skawy i Dunajca. Wyniki badań wskazują na znacznie silniejszy wpływ tej makroskalowej cyrkulacji na przepływy lewostronnych dopływów Wisły na obszarze Wyżyny Śląskiej. Zróżnicowany wpływ wynikać może zarówno z naturalnych uwarunkowań kształtujących roczny cykl zmian odpływu, czego przejawem są odmienne typy reżimu odpływu, jak i z antropogenicznych zmian warunków odpływu, które obserwuje



Ryc. 6. Położenie zlewni wyróżnionych w drugim wariancie grupowania

Fig. 6. Location of catchments distinguished in the second variant of clustering

się na niektórych rzekach regionu śląskiego. Znaczenie natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej w sezonie zimowym jako wskaźnika umożliwiającego predykcję zmian odpływu w sezonie wiosennym w niektórych regionach kraju, zwłaszcza w północno-wschodniej Polsce, zostało szeroko opisane i częściowo potwierdzone (Wrzeński 2011). Z badań wynika, że jedynie w wypadku lewostronnych dopływów Wisły obserwacje natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej w okresie zimowym mogą pozwolić na projekcje zmian odpływu tych rzek w okresie letnio-jesiennym. Wykryte związki letnich indeksów NAO z przepływami w późniejszym okresie zimowym i wiosennym należy interpretować ostrożnie, a ich siła predykcji wymaga potwierdzenia w dalszych badaniach.

## LITERATURA

- Bednorz E., 2009: *Wpływ sytuacji barycznych na występowanie pokrywy śnieżnej na obszarach nizinnych środkowej Europy*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Bryś K., Bryś T., 2002: *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na zmienność warunków wilgotnościowych, radiacyjnych, dynamicznych i ewaporacyjnych we Wrocławiu-Swojcu w latach 1946–2000*. [W:] A. Marsz, A. Styszyńska, (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akad. Morska w Gdyni, Gdynia, 147–160.
- Falarz M., 2007: *Snow cover variability in Poland in relations to macro- and mesoscale atmospheric circulation in the twentieth century*, Internat. Journ. of Climatol. 27, 2069–2081.
- Kaczmarek Z., 2002: *Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej na przepływy rzek europejskich*.



- [W:] A. Marsz, A. Styszyńska (red.) *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akad. Morska w Gdyni, Gdynia, 163–172.
- Kaczmarek Z., 2003: *The Impact Climate Variability on Flood Risk in Poland*, Risk Anal. 23, 559–566.
- Koźuchowski K., Degirmendžic J., 2002: *Wskaźniki cyrkulacji a temperatura powietrza w Polsce*. [W:] A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akad. Morska, Gdynia, 111–128.
- Marsz A., 2001: *Stan termiczny Północnego Atlantyku a reżim termiczny zim na polskim wybrzeżu Bałtyku*, Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Gdynia.
- Marsz A., Styszyńska A., 2001: *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*, Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, Gdynia.
- Marsz A., Żmudźka E., 1999: *Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce*, Przegl. Geofiz. 44.
- Niedźwiedz T., 2002: *Relacje między NAO a wskaźnikami cyrkulacji nad Polską*. [W:] A. Marsz, A. Styszyńska, *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akad. Morska w Gdyni, 87–97.
- Pociask-Karteczka J., Limanówka D., Nieckarz Z., 2002–2003: *Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej na przepływy rzek karpackich (1951–2000)*, Fol. Geograph., Ser. Geographia-Physica, Vol. XXXIII–XXXIV.
- Przybylak R., Wójcik G., Marciniak K., 2003: *Wpływ Oscylacji Północnoatlantycznej i Arktycznej na warunki termiczne chłodnej pory roku w Polsce w XVI–XX wiekach*, Przegl. Geofiz. 48, 1–2, 61–74.
- Styszyńska A., 2001: *Oscylacja Północnego Atlantyku a opady na obszarze Polski*, Pr. i Stud. Geogr. 29, 232–241.
- Styszyńska A., 2002: *Związki między przepływem Warty w Poznaniu a zimowymi wskaźnikami NAO w okresie 1865–2000*. [W:] A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Oscylacja Północnego Atlantyku i jej rola w kształtowaniu zmienności warunków klimatycznych i hydrologicznych Polski*, Akad. Morska w Gdyni, Gdynia, 173–180.
- Styszyńska A., Tamulewicz J., 2004: *Warta river discharges in Poznań and atmospheric circulation in the North Atlantic region*, Quaes. Geograph. 23, 61–81.
- Wibig J., 2001: *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie*, Wyd. UŁ, Łódź.
- Wrzesiński D., 2010: *Odpyw rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantycznej*, Bad. Fizjogr. R. I., Ser. A(A61), 129–144.
- Wrzesiński D., 2011: *Regional differences in the influence of the North Atlantic Oscillation on seasonal river runoff in Poland*, Quaes. Geograph. 30(3), 127–136.
- Wrzesiński D., 2013: *Entropia odpywu rzek w Polsce*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.